

г. Екатеринбурге и Свердловской области. Планирование транспортной системы» GFC282 (LoC 2003/74163 - FWC AMS/451).

3. Михайлов А.Ю., Головных И.М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с.

4. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения. – Минск: Фонд Безопасности движения МВД Республики Беларусь, 1996. – 326 с.

5. Капский Д.В., Седокевич В.Н. Анализ развития автомобильных стоянок в г.Минске // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: Материалы XI Междунар. (14-й Екатеринбургской) науч.-практ. конф. . – Екатеринбург: Изд-во «АМБ» 2005. – 246 с.

*Получено 14.02.2006*

УДК 656.13.08

Д.В.КАПСКИЙ

*Белорусский национальный технический университет, г.Минск*

## **ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНОСТИ**

Рассматриваются вопросы прогнозирования аварийности на конфликтных объектах (перекрестках и пешеходных переходах), определены недостатки существующих методов, предложен подход к развитию метода потенциальной опасности.

Повышение безопасности в значительной мере сдерживается отсутствием надежных методов прогнозирования аварийности. Существующие методы прогнозирования аварийности не пригодны для практических работ по оптимизации решений в области организации дорожного движения на стадии их разработки или проектирования объектов. Необходимо любое решение по организации дорожного движения объективно оценивать и оптимизировать по критерию безопасности еще на стадии разработки или проектирования. С ростом автомобилизации данная проблема будет становиться все более актуальной.

Существуют четыре основных метода прогнозирования аварийности – статистический [1, 2, 8], конфликтных ситуаций [4, 5, 8], потенциальной опасности [3, 7] и экспертный метод [4, 6].

*Статистический метод* использует накопленный опыт влияния различных мероприятий на аварийность, делает прогноз на основании статистики аварийности за прошедший период и обязательно требует наличия реального объекта. Этот метод применим, в основном, для предварительной оценки эффективности тех или иных мероприятий, внедряемых на реальных объектах улично-дорожной сети.

*Метод конфликтных ситуаций* заключается в переводе измеренного числа конфликтных (т.е. очень опасных, видимых) ситуаций в вероятное число аварий и также требует наличия реального объекта, на котором производятся измерения. Метод позволяет быстро, в течение

ние нескольких часов наблюдений, выявить недостатки в организации движения, приводящие к авариям, и разработать соответствующие мероприятия по их устранению. Применяется, как правило, на вновь построенных или реконструированных объектах с целью своевременной корректировки решений по организации движения.

*Экспертный метод.* Есть люди, которые в силу накопленного опыта или природных данных могут предсказать аварийность на данном объекте, с которым они знакомятся либо воочию, либо по чертежам. В особых случаях привлекают нескольких экспертов, которые совместно предсказывают аварийность. Следует отметить, что прогнозирование аварийности – дело чрезвычайно сложное, «тонкое» и весьма приблизительное. Что касается настоящих экспертов, которые «угадывают» аварийность, то их, к сожалению, считанные единицы, а большинство из действующих «экспертов» мало пригодны к этой работе.

*Метод потенциальной опасности* не требует ни реального объекта, ни статистики аварийности и дает прогноз по совокупности факторов, влияющих на аварийность, которые можно либо измерить на реальном объекте, либо задать в любой комбинации при проектировании. Поэтому он применим для оптимизации решений как на реальном объекте, так и на стадии разработки или проектирования. К сожалению, на сегодняшний день этот метод, как, впрочем, и все остальные, отличается крайне невысокой точностью прогноза.

*Потенциальная опасность* – это невидимая, скрытая опасность, которая является некой сложной, закодированной функцией многих факторов и множества их комбинаций – интенсивность, скорость, регулирование, условия движения и т.д. Существуют три модификации метода – *метод линейных графиков, метод конфликтных точек и метод замедлений.*

*Метод линейных графиков*, одним из основателей которого является проф. В.Ф.Бабков [3], пригоден для прогнозирования аварийности на загородных дорогах и реализован в виде двух методик. *Методика линейных графиков коэффициентов аварийности* заключается в следующем. Исследуемая дорога разбивается на однородные участки, для которых из специальных таблиц выбираются *частные коэффициенты аварийности*, характеризующие влияние на аварийность отдельных факторов – ширины полосы движения, радиуса поворота, скользкости и т.д. Перемножив эти коэффициенты, а их около 20, получают *итоговый коэффициент*, по которому и судят о вероятном числе аварий на исследуемом участке. В *методике линейных графиков коэффициентов безопасности* определяют места перепада скоростей от боль-

шей к меньшей – чем больше перепад, тем опаснее участок.

*Метод замедлений* предназначен для прогнозирования попутных столкновений и основан на определении параметров, т.н. зоны дилеммы, в которой водители могут с равной вероятностью принимать два взаимоисключающих решения – либо продолжить движение, либо остановиться. Вероятность аварии зависит от размеров зоны дилеммы, расстояния от нее до возникшего препятствия, ожидаемости этого препятствия, скорости движения, плотности потока и т.д. Методика прогнозирования попутных столкновений на перекрестках предложена Ю.А.Врубелем (Республика Беларусь).

*Метод конфликтных точек* впервые предложен Г.Раппопортом (ФРГ) [3, 4] и заключается в подсчете потенциальной опасности в каждой конфликтной точке с последующим суммированием в пределах перекрестка. Метод применим для прогнозирования аварийности на конфликтных объектах – перекрестках, пешеходных переходах и т.д. Первоначально, в первых методиках, подсчет потенциальной опасности проводился только по числу конфликтных точек и углу между траекториями движения конфликтующих участников. Затем в расчетную модель были введены интенсивность движения конфликтующих потоков и ее неравномерность. В БНТУ в расчетную модель определения потенциальной опасности были введены другие факторы (их около 80), что повысило точность прогноза. Ю.А.Врубелем были разработаны базовые методики прогнозирования аварийности: на нерегулируемых и регулируемых перекрестках и на пешеходных переходах. Они взяты за основу для дальнейшего их совершенствования.

Цель данной работы – создание пригодной для практического применения методики прогнозирования аварийности на конфликтных объектах, которая бы позволяла оценить аварийность еще на стадии проектирования.

Для проверки адекватности выбранных для дальнейшего совершенствования методик проведено сопоставление прогнозируемой и фактической аварийности для выборки конфликтных объектов, включающей перекрестки с двухфазным светофорным циклом и нерегулируемые перекрестки умеренной нагрузки. Оказалось, что зависимость аварийности от потенциальной опасности статистически значима, однако точность прогноза остается неприемлемо низкой.

Структурная формула для определения потенциальной опасности в конфликте «транспорт - транспорт» в базовой методике имеет вид произведения шести коэффициентов, каждый из которых представляет псевдонезависимую группу факторов, влияющих на аварийность, и

определяется посредством зависимостей различного уровня сложности.

Введено понятие *конфликтной зоны*, которая представляет собой группу компактно расположенных и взаимодействующих между собой конфликтных точек, границы которых пересекаются. Конфликтные зоны различны для каждого режима движения и могут быть образованы как отдельной конфликтной точкой, границы которой определяются размерами конфликтующих участников, так и компактной группой конфликтных точек, а в отдельных случаях, на небольших объектах – всеми конфликтными точками, входящими в перекресток. На конфликтном объекте всегда имеются пространственные точки на проезжей части, на которые одновременно претендуют несколько конфликтующих участников движения – так называемые *конфликтные точки*. Различают конфликтные точки слияния, пересечения и отклонения (рис.1).

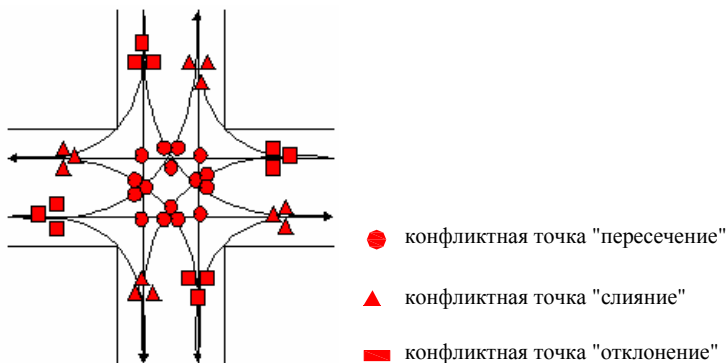


Рис.1 – Конфликтные точки

На графиках конфликтные точки изображаются в виде безразмерных точек пересечения осей траекторий движения конфликтующих участников. На самом же деле «конфликтная точка» имеет свои границы и занимает некоторую площадь на проезжей части, определяемую размерами конфликтующих транспортных средств и отклонением траектории их движения от идеальной (по центру занимаемой полосы).

Границы конфликтной точки пересечения определяются размерами расчетного конфликтующего автомобиля, расположенного в произвольном направлении так, что геометрический центр его площади проекции совпадает с конфликтной точкой. В этом случае границы конфликтной точки будут иметь вид круга, проведенного через конфликтную точку с радиусом:

$$r_a = 0,5\sqrt{(L_a \cdot K_{nn})^2 + (B_a \cdot \sqrt{K_{nn}})^2} \approx 2,65K_{nn} \text{ м.} \quad (1)$$

Границы конфликтной точки слияния также определяются размерами расчетного автомобиля, касающегося серединой конфликтной точки передней части и занимающего пространственный сектор  $60^\circ$ .

На рис.2 показана схема образования конфликтных точек, их границы и занимаемая ими площадь на проезжей части.

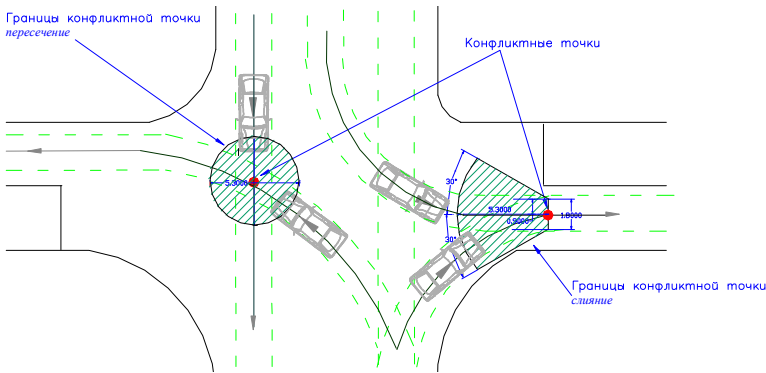


Рис. 2 – Границы конфликтной точки

На рис.3 показана схема образования конфликтной зоны.

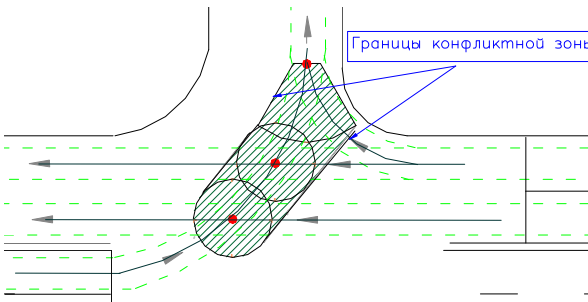


Рис.3 – Схема образования конфликтной зоны

Необходимо рассматривать конфликтные зоны для каждого режима конфликтного движения. На регулируемом перекрестке таких режимов три: нерегулируемый, внутрифазный и межфазный.

Видно, что в некоторых случаях конфликтные зоны могут быть образованы двумя-тремя конфликтными точками, а в отдельных случаях – одной конфликтной точкой (рис.4).

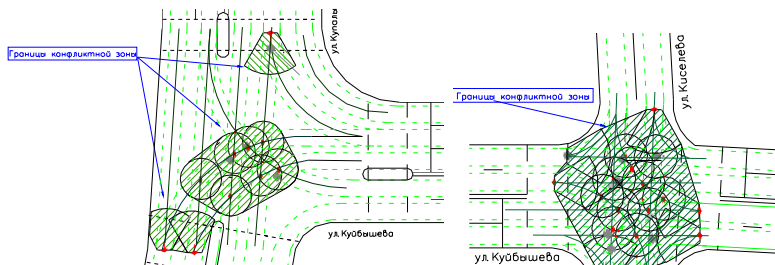


Рис.4 – Характер и расположение конфликтных зон

Отличительным признаком конфликтной зоны является компактное расположение конфликтных точек и их взаимодействие между собой. Очевидно, в конфликтной зоне второстепенный конфликтующий участник безостановочно преодолевает несколько последовательно расположенных конфликтных точек, из которых одна, самая «тяжелая» (опасная) является для него «главной». Опасность в этой «главной» конфликтной точке является для него именно той объективной опасностью, которую он субъективно оценивает, на которую он психологически настраивается и по которой он соизмеряет свои действия. Поэтому более «легкие» конфликтные точки, встречающиеся до или после «главной» конфликтной точки, преодолеваются им элементарно, с запасом. В результате значимость (весомость) «легких» конфликтных точек в пределах конфликтной зоны снижается, а весомость «тяжелых» конфликтных точек из-за возможной недооценки опасности – наоборот, возрастает. В этой связи можно допустить, что чем больше в конфликтной зоне конфликтных точек, тем меньше весомость каждой конфликтной точки. Если же водитель преодолевает несколько совершенно независимых конфликтных зон или отдельных конфликтных точек, то в каждой из них он должен оценивать наибольшую опасность и принимать соответствующие решения. Это обстоятельство должно соответствующим образом отображаться при суммировании потенциальной опасности конфликтных точек в пределах конфликтной зоны:

$$P_{oz} = \left[ \sum_{i=1}^N (P_{oi}^m) \right]^n, \quad (2)$$

где  $N$  – количество конфликтных точек в конфликтной зоне;  $m, n$  – показатели степени (отличающиеся для различных режимов конфликтного движения).

Положение о взаимодействии конфликтных точек в пределах

конфликтной зоны было перенесено на конфликтные зоны, связанные между собой траекториями движения второстепенных конфликтующих участников. Такие конфликтные зоны были ранжированы в пределах перекрестка по формуле

$$P_{oz}^* = P_{oz} \cdot e^{-\beta} \leq P_{oz}, \quad (3)$$

$$\beta = \frac{P_o^m - P_o}{P_o^m (S - 5K_{nn})}, \quad 0 \leq \beta \leq 1, \quad (4)$$

где  $P_{oz}^*$  – расчетное значение потенциальной опасности в исследуемой (второстепенной) конфликтной зоне;  $P_{oz}$  – начальное значение потенциальной опасности в исследуемой конфликтной зоне;  $P_o^m$  – максимальное значение потенциальной опасности в конфликтной точке «главной» конфликтной зоны;  $P_o$  – максимальное значение потенциальной опасности в конфликтной точке исследуемой конфликтной зоны;  $S$  – расстояние между ближайшими конфликтными точками исследуемой и «главной» конфликтной зоны.

Введено понятие «*порог чувствительности потенциальной опасности*» в конфликтной точке, ниже которого она не вызывает аварий и поэтому не суммируется. Пороги чувствительности оказались различными для разных режимов движения. Проведены специальные исследования, доказавшие сам факт существования порога чувствительности, и определены расчетные значения порога чувствительности для каждого режима движения. В результате, значения потенциальной опасности в конфликтных точках, которые находятся ниже порога чувствительности, не суммируются в пределах конфликтной зоны. Это особенно важно для прогнозирования аварийности на слабонагруженных перекрестках, что нашло свое подтверждение при контрольном прогнозировании аварийности.

Представленные в статье материалы позволили определить дальнейшие направления совершенствования метода потенциальной опасности. Предлагаемый подход даст возможность более адекватно прогнозировать аварийность по методу потенциальной опасности. Для дальнейшего совершенствования методики прогнозирования аварийности по методу потенциальной опасности необходимо продолжить исследование таких конфликтных объектов, как пешеходные переходы, светофорные объекты, включенные в координированное управление, нерегулируемые перекрестки и т.д. Необходимо отметить, что нужно разработать и пригодные для практического применения мето-

дики определения экологических и экономических потерь, чтобы в дальнейшем использовать при оптимизации принимаемых решений по организации движения обобщенный показатель – потери в дорожном движении.

1. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения. Справочник: Пер. с англ. В.У.Рэнкин и др. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.

2. Аксенов В.А., Попова Е.П., Дивочкин О.А. Экономическая эффективность рациональной организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1987. – 128 с.

3. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.

4. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения. – Минск: Фонд Безопасности движения МВД Республики Беларусь, 1996. – 326 с.

5. Elvik R. To what extent can theory account for the findings of road safety evaluation studies? // *Accident Analysis & Prevention*, Volume 36, Issue 5, Sept. 2004, P. 841-849.

6. Dieng R. Comparison of Conceptual Graphs for Modeling Knowledge of Multiple Experts: Application to Traffic Accident Analysis. INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE: Rapport de recherche №3161, April 1997. – 88 p.

7. Taber J.T. Multi-objective optimization of intersection and roadway access design. Principal Investigator, Utah Transportation Center: Utah State University, 1998. – 78 p.

8. ANTOV D. State of the art of the use of traffic conflicts techniques and other pre-accident criteria in the soviet union, especially in the Baltic republics // *ITCC, Traffic kon.* 1999.

*Получено 14.02.2006*

УДК 621.311.4.011.57

В.С.МОГИЛА, канд. техн. наук, В.Н.ГАЛУШКО, П.Л.ЧЕЧЕТ

*Белорусский государственный университет транспорта,*

*Гомельский государственный университет им.Ф.Скорины (Республика Беларусь)*

## **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ ГОРОДСКИМ ТРАНСПОРТОМ**

Приводятся содержательное и формальное описания имитационной модели транспортной сети города. Для построения имитационной модели предложено использовать программно-технологический комплекс имитации взаимодействия компонентов городской транспортной сети.

Моделированием функционирования городской транспортной сети (ГТС) занимались многие исследователи [1-3]. Достаточно большое количество попыток исследования ГТС говорит о том, что проблема эта настолько сложна, что в каждом случае удавалось достичь лишь ее частичного решения. Каждая ГТС уникальна по структуре и составу транспортных потоков и троллейбусных линий обслуживания микрорайонов города. Поэтому аналитические модели малопригодны в такой ситуации и требуется для каждой ГТС своя разработка имитационной модели (ИМ), в которой уровень детализации процессов может быть различным. Сложность самой ГТС, непредсказуемость поведения